

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-266313

(P2001-266313A)

(43) 公開日 平成13年9月28日 (2001.9.28)

(51) IntCl.⁷

識別記号

F I

ターミナル (参考)

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

5 D 0 3 4

審査請求 有 請求項の数18 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2000-77309(P2000-77309)

(22) 出願日 平成12年3月17日 (2000.3.17)

(71) 出願人 000003067

ティーディーケー株式会社

東京都中央区日本橋1丁目13番1号

(72) 発明者 島沢 幸司

東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(72) 発明者 笠原 寛昭

東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

(74) 代理人 100081606

弁理士 阿部 美次郎

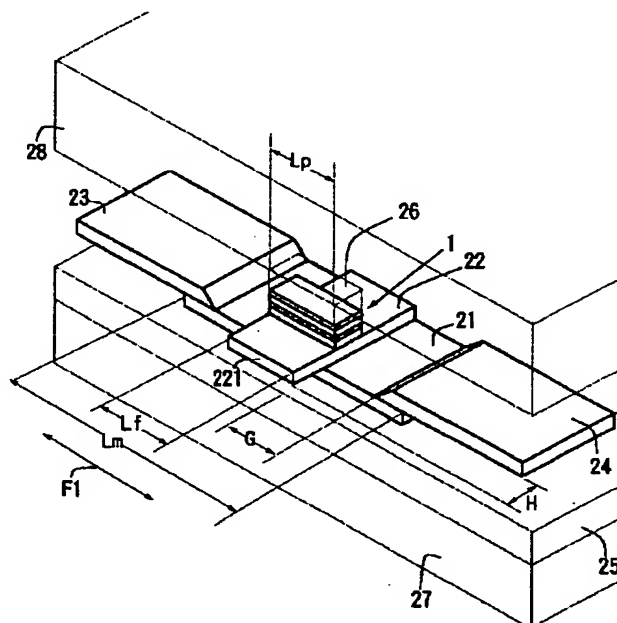
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トンネル磁気抵抗効果素子、薄膜磁気ヘッド、磁気ヘッド装置及び磁気ディスク装置

(57) 【要約】

【課題】 高精度の読み取りトラック幅を有し超高密度記録に適用できTMR素子を提供する。

【解決手段】 強磁性トンネル効果膜1は、トンネルバリア層11がフリー層12とピンド層13とによって挟まれた構造を有する。バイアス磁界誘導層21は、フリー層12にバイアス磁界を印加するものであって、バイアス磁界の方向F1で見た幅が強磁性トンネル効果膜1の幅よりも大きい。フラックスガイド層22はバイアス磁界誘導層21と積層されるとともに、フリー層12に磁氣的に結合され、一端がフラックスプローブ部221を構成する。フラックスプローブ部221はその幅がバイアス磁界誘導層21の幅よりも狭く、バイアス磁界誘導層21から突出している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 強磁性トンネル効果膜と、バイアス磁界誘導層と、フラックスガイド層とを含むトンネル磁気抵抗効果素子であって、

前記強磁性トンネル効果膜は、トンネルバリア層と、フリー層と、ピン層とを含み、前記トンネルバリア層が前記フリー層と前記ピン層とによって挟まれており、前記バイアス磁界誘導層は、前記フリー層にバイアス磁界を印加するものであって、バイアス磁界の方向で見た幅が前記強磁性トンネル効果膜の幅よりも大きくなっており、

前記フラックスガイド層は、前記バイアス磁界誘導層のバイアス磁界の方向と交差するようにして、前記バイアス磁界誘導層と積層されるとともに、前記フリー層に磁氣的に結合され、一端がフラックスプローブ部を構成し、前記フラックスプローブ部はその幅が前記バイアス磁界誘導層の幅よりも狭く、前記バイアス磁界誘導層から突出しているトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 請求項1に記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、前記強磁性トンネル効果膜は、前記フリー層、前記トンネルバリア層及び前記ピン層の順に積層されており、

前記フラックスガイド層は、前記バイアス磁界誘導層の上に積層されており、

前記強磁性トンネル効果膜の前記フリー層は、フラックスガイド層に隣接するトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 請求項2に記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、

前記フラックスガイド層は、前記フリー層と一体であるトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 請求項1に記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、

前記強磁性トンネル効果膜は、前記ピン層、前記トンネルバリア層及び前記フリー層の順に積層されており、前記バイアス磁界誘導層は、前記フリー層に隣接しており、

前記フラックスガイド層は、前記バイアス磁界誘導層の上に積層されているトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 請求項1乃至4の何れかに記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、

前記バイアス磁界誘導層は、バイアス付与手段を有しており、前記バイアス付与手段は前記バイアス磁界誘導層の幅方向両端部に接触し、かつ、前記ピン層の幅方向端部との間に間隔Gを有するトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 請求項5に記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、

前記バイアス手段は、高保磁力材料、反強磁性材料、または反強磁性層と少なくとも一層の強磁性層との積層体から構成されるトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 請求項1乃至6の何れかに記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、

更に、ピン止め層を含み、前記ピン止め層は、前記ピン層の磁化をピンニングするトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 請求項1乃至7の何れかに記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、

更に、一对の電極を有し、前記一对の電極は、前記強磁性トンネル効果膜を積層方向に挟むように対向配置され、前記強磁性トンネル効果膜に電氣的に接合されているトンネル磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 請求項8に記載されたトンネル磁気抵抗効果素子であって、

更に、一对のシールド膜を含み、前記一对のシールド膜は、前記一对の電極を挟むように対向配置されているトンネル磁気抵抗素子。

【請求項10】 少なくとも1つの読み出し素子を含む薄膜磁気ヘッドであって、

前記読み出し素子は、請求項1乃至の何れかに記載されたトンネル磁気抵抗効果素子でなる薄膜磁気ヘッド。

【請求項11】 請求項10に記載された薄膜磁気ヘッドであって、

更に、少なくとも1つの書き込み素子を含む薄膜磁気ヘッド。

【請求項12】 請求項11に記載された薄膜磁気ヘッドであって、

前記書き込み素子は、誘導型電磁変換素子であり、前記誘導型電磁変換素子は、第1の磁性膜、第2の磁性膜及びギャップ膜を含んでおり、

前記第1の磁性膜及び前記第2の磁性膜は、それぞれ的一端が前記ギャップ膜によって隔てられ、書き込みポール部を構成している薄膜磁気ヘッド。

【請求項13】 請求項11に記載された薄膜磁気ヘッドであって、

前記書き込み素子は、誘導型電磁変換素子であり、前記誘導型電磁変換素子は、第1の磁性膜と、第2の磁性膜とを含み、

前記第1の磁性膜は、主磁極と、補助磁極とを含んでおり、

前記主磁極は、垂直書き込みポール部を構成しており、前記補助磁極は、前記主磁極及び前記第1の磁性膜を磁氣的に結合している薄膜磁気ヘッド。

【請求項14】 薄膜磁気ヘッドと、ヘッド支持装置とを含む磁気ヘッド装置であって、

前記薄膜磁気ヘッドは、請求項10乃至13の何れかに記載されたものでなり、

前記ヘッド支持装置は、前記薄膜磁気ヘッドを支持する磁気ヘッド装置。

【請求項15】 磁気ヘッド装置と、磁気ディスクとを含む磁気ディスク装置であって、

前記磁気ヘッド装置は、請求項14に記載されたものでなり、

前記磁気ディスクは、前記磁気ヘッド装置との間で、磁気記録、及び、再生を行う磁気ディスク装置。

【請求項16】 強磁性トンネル効果膜の製造方法であって、

前記強磁性トンネル効果膜は、トンネルバリア層と、フリー層と、ピンド層とを含み、前記トンネルバリア層が前記フリー層と前記ピンド層とによって挟まれており、前記各層の成膜前に、成膜する表面をイオンエッチングによりクリーニングする工程を含む強磁性トンネル効果膜の製造方法。

【請求項17】 強磁性トンネル効果膜を含むトンネル磁気抵抗効果素子の製造方法であって、

前記強磁性トンネル効果膜は、トンネルバリア層と、フリー層と、ピンド層とを含み、前記トンネルバリア層が前記フリー層と前記ピンド層とによって挟まれており、前記各層の成膜前に、成膜する表面をイオンエッチングによりクリーニングする工程を含むトンネル磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項18】 少なくとも1つの読み出し素子を含む薄膜磁気ヘッドを製造する方法であって、

前記読み出し素子は、強磁性トンネル効果膜を含んでおり、

前記強磁性トンネル効果膜は、トンネルバリア層と、フリー層と、ピンド層とを含み、前記トンネルバリア層が前記フリー層と前記ピンド層とによって挟まれており、前記各層の成膜前に、成膜する表面をイオンエッチングによりクリーニングする工程を含む薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、トンネル磁気抵抗効果素子（以下TMR素子と称する）、薄膜磁気ヘッド、磁気ヘッド装置及び磁気ディスク装置に関する。

【0002】

【従来の技術】ハードディスク（HDD）の高密度化に伴い、高感度、高出力のヘッドが要求されている。TMR素子はこの要求に応えるものとして注目されている。TMR素子は、強磁性層／トンネルバリア層／強磁性層という多層構造からなる強磁性トンネル効果膜を利用している。強磁性トンネル効果とは、トンネルバリア層を挟む一对の強磁性層間に電流を流す場合に、トンネルバリア層を流れるトンネル電流が、両方の強磁性層の磁化の相対角度に依存して変化する現象を言う。この場合のトンネルバリア層は、薄い絶縁膜であって、トンネル効果によりスピンを保存しながら電子が通過できるものである。

【0003】TMR素子においては、12%以上の抵抗変化率 $\Delta R/R$ を示すことが報告されている。このよう

なTMR素子は、スピンバルブ膜（Spin Valve膜、以下SV膜と称する）を用いたセンサに代わる次世代のセンサとして期待されているものの、磁気ヘッドへの応用はまだ始まったばかりであり、当面の課題の一つとしてTMR特性を最大限生かせる新規なヘッド構造の開発が挙げられる。すなわち、強磁性トンネル効果膜そのものが、積層膜の厚さ方向に電流を流す幾何学的構造をとるために、従来提案されていない新しいヘッド構造の設計が要求される。

【0004】TMR素子を磁気ヘッド構造に応用した従来例は、U.S.P. 5,729,410、U.S.P. 5,898,547、U.S.P. 5,898,548、U.S.P. 5,901,018などに記載されている。これらの公報では、主として超高密度記録に対応できるように技術的な改善が提案されている。しかしながら、超高密度記録に対するTMR磁気ヘッドの開発要求は、より高度なものとなり、従来にも増して高性能であるTMR磁気ヘッドの提案が待ち望まれている。

【0005】例えば、TMR素子を薄膜磁気ヘッドの読み取り素子として用いる場合、薄い絶縁層からなるトンネルバリア層を研磨面に晒す構造は、研磨加工時、もしくは研磨加工後において、電氣的ショートが発生する可能性があり好ましくない。このような問題を回避する手段として、本発明者らは先にフラックスプローブ部型のTMR構造を提案した（特願平11-188472号）。この先行技術では、強磁性トンネル効果膜を、研磨面から引っ込んだ位置に配置する共に、強磁性トンネル効果膜に直接接触させた軟磁性層の先端部を、フラックスプローブ部として、研磨面に導出してある。フラックスプローブ部は、強磁性トンネル効果膜のフリー層の一部を用いたり、強磁性トンネル効果膜とはサイズの異なる軟磁性層を新たに加えることにより形成される。

【0006】フラックスプローブ部を形成するために付与する軟磁性層にはもう一つの大切な役割がある。それは、ハードマグネットもしくは反強磁性体からの長手バイアス磁界を強磁性トンネル効果膜のフリー層に与えるバイアス磁界誘導部としての役割である。

【0007】ところが、強磁性トンネル効果膜の端部にハードマグネット等を接触させると、先に述べた幾何学的構造の故に、強磁性膜間ショートが発生し、TMR変化率を失ってしまう。

【0008】また、強磁性トンネル効果膜の上部強磁性膜、もしくは下部強磁性膜の何れかに、ハードマグネット等を直接に接触させた場合には、強磁性膜間ショートは発生しないが、ハードマグネット等を通して電流が流れてしまい、TMR変化率が劣化する。

【0009】このような問題を回避する手段として、本発明者らは、フラックスプローブ部を構成する軟磁性膜をT状の形状とし、フラックスプローブ部の基部を、トラックス幅方向に延長し、強磁性トンネル効果膜よりも幅の広い形状とし、その両端部分にハードマグネットもし

くは反強磁性層を形成する構造を提案した(特願平11-171869号)。

【0010】ところで、記録の高密度化に伴い、メディアに記録される磁気的な記録パターンは縮小し、それに伴い再生ヘッドに搭載するTMR素子の面積も縮小しなくてはならない。例えば、40Gbspiの記録密度に適応させるためには、TMR素子は $0.4 \times 0.4 (\mu\text{m}^2)$ 程度のサイズにまで縮小しなくてはならない。このような微細パターンの形成には、フォトリソグラフィ技術により、微細なマスクを形成し、イオンミリングにより金属膜をパターンニングするという手法がとられる。

【0011】ところが、先に提案されたように、フラックスプローブ部およびバイアス磁界誘導部を、1つの軟磁性膜で構成した場合、現在のフォトリソグラフィ技術では、パターンが微細化されるにつれて、フラックスプローブ部の角の部分が丸まってしまう。TMR素子を薄膜磁気ヘッドの読み取り素子として用いた場合、ヘッドの再生トラック幅はフラックスプローブ部の幅で決定されるので、このような角の丸まりは、トラック幅のバラツキの原因となり好ましくない。

【0012】このような問題を回避するためには、EB露光技術等を導入する必要があるが、スループットの遅さが問題であり、装置自体も高額である。

【0013】また、軟磁性層を、T状ではなく、TMR素子よりも大きな長方形とした場合には、トラック幅をTMR素子よりも小さくすることができなくなり、好ましくない。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】本発明の課題は、超高密度記録に適用できるTMR素子、薄膜磁気ヘッド、磁気ヘッド装置及び磁気ディスク装置を提供することにある。

【0015】本発明のもう一つの課題は、高精度の読み取りトラック幅を有するTMR素子、薄膜磁気ヘッド、磁気ヘッド装置及び磁気ディスク装置を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】このような課題を解決するために、本発明に係るTMR素子は、強磁性トンネル効果膜と、バイアス磁界誘導層と、フラックスガイド層とを含む。

【0017】前記強磁性トンネル効果膜は、トンネルバリア層と、フリー層と、ピン層とを含み、前記トンネルバリア層が前記フリー層と前記ピン層とによって挟まれている。

【0018】前記バイアス磁界誘導層は、前記フリー層にバイアス磁界を印加するものであって、バイアス磁界の方向で見た幅が前記強磁性トンネル効果膜の幅よりも大きくなっている。

【0019】前記フラックスガイド層は、前記バイアス磁界誘導層のバイアス磁界の方向と交差するようにして、前記バイアス磁界誘導層と積層されるとともに、前記フリー層に磁気的に結合され、一端がフラックスプローブ部を構成し、前記フラックスプローブ部はその幅が前記バイアス磁界誘導層のバイアス磁界の方向で見た幅よりも狭く、前記バイアス磁界誘導層から突出している。

【0020】本発明に係るTMR素子は、フリー層／トンネルバリア層／ピン層という多層構造からなる強磁性トンネル効果膜を有しており、トンネルバリア層を挟むフリー層とピン層との間に電流を流した場合、トンネルバリア層を流れるトンネル電流が、フリー層及びピン層の間の磁化の相対角度に依存して変化する(TMR効果)。ピン層の磁化の方向は固定であるが、フリー層の磁化の方向は、外部磁界に応じて変化する。従って、TMR素子に流れる電流またはその変化率を検出することにより、外部磁界を検出することができる。

【0021】本発明に係るTMR素子は、バイアス磁界誘導層を含む。バイアス磁界誘導層は、前記フリー層にバイアス磁界を印加する。これにより、フリー層におけるバルクハウゼンノイズを除去し、高品質の検出信号を得ることができる。バイアス磁界誘導層は、長手方向で見た幅が前記強磁性トンネル効果膜の幅よりも大きくなっている。従って、バイアス磁界誘導層の幅方向の両端部分に、強磁性トンネル効果膜から間隔を隔てて、バイアス付与手段を形成することができる。このため、バイアス付与手段による強磁性膜間ショート等を回避することができる。

【0022】更に、本発明に係るTMR素子は、フラックスガイド層を含む。フラックスガイド層は、フリー層に磁気的に結合され、一端がフラックスプローブ部を構成する。このフラックスプローブ部はバイアス磁界誘導層から突出している。外部磁界は、フラックスプローブ部から導入され、フラックスガイド層を通して、フリー層に印加される。従って、薄膜磁気ヘッドへの適用等において、フラックスプローブ部を研磨面に位置させ、強磁性トンネル効果膜は、研磨面から引っ込んだ位置に配置することができる。このため、研磨加工時、もしくは研磨加工後において、トンネルバリア層に電氣的ショートが発生するのを回避することができる。

【0023】フラックスプローブ部は、その幅が、バイアス磁界誘導層のバイアス磁界の方向で見た幅よりも狭く、バイアス磁界誘導層から突出しているから、薄膜磁気ヘッドの読み取り素子として用いた場合、ヘッドの再生トラック幅はフラックスプローブ部の幅で決定される微小値に設定できる。

【0024】しかも、フラックスガイド層は、バイアス磁界誘導層と積層されているのであって、バイアス磁界誘導層とは別の層となっているから、バイアス磁界誘導

層とは別の成膜プロセスによって、形成することができる。

【0025】フラックスガイド層は、バイアス磁界誘導層のバイアス磁界の方向と交差しており、一端がフラックスプローブ部を構成している。従って、フラックスガイド層が、端部において、丸みを生じた場合にも、その丸み部分を除去し、幅寸法の安定した部分を、フラックスプローブ部として利用することができる。このため、高精度の読み取りトラック幅を有するTMR素子を得ることができる。

【0026】具体的態様において、強磁性トンネル効果膜は、フリー層、トンネルバリア層及びピン層の順に積層されるか、または、ピン層、トンネルバリア層及びフリー層の順に積層される。

【0027】強磁性トンネル効果膜が、フリー層、トンネルバリア層及びピン層の順に積層した構造を有する場合、フラックスガイド層を、バイアス磁界誘導層の上に積層し、TMR膜のフリー層をフラックスガイド層に隣接させる構造を採用することができる。この場合、フラックスガイド層は、フリー層と一体に形成することができる。

【0028】強磁性トンネル効果膜が、ピン層、トンネルバリア層及びフリー層の順に積層した構造を有する場合、バイアス磁界誘導層をフリー層に隣接させ、フラックスガイド層をバイアス磁界誘導層の上に積層する構造を採用することができる。

【0029】バイアス磁界誘導層は、バイアス付与手段を有しており、バイアス付与手段は、バイアス磁界誘導層の幅方向の両端部に接触し、かつ、ピン層の幅方向端部との間にスペースを有する。この構造によれば、強磁性膜間ショート、及び、電流回り込みを回避できる。バイアス手段は、高保磁力材料、反強磁性材料、または反強磁性層と少なくとも一層の強磁性層との積層体から構成され得る。また、強磁性トンネル効果膜は、ピン止め層を含む。このピン止め層はピン層の磁化をピンニングする。

【0030】本発明は、また、強磁性トンネル効果膜に電流を流すための電極構造、強磁性トンネル効果膜に対するシールド構造、更には、TMR素子を読み出し素子として用いた薄膜磁気ヘッド、この薄膜磁気ヘッドを用いた磁気ヘッド装置及び磁気ディスク装置についても開示する。本発明は、更に、強磁性トンネル効果膜の製造方法についても開示する。

【0031】

【発明の実施の形態】図1は本発明に係るTMR素子の一実施例を示す斜視図、図2は図1に示したTMR素子の拡大断面図、図3は図2の3-3線に沿った断面図である。これらの図は、本発明の特徴部分を容易に理解できるように、誇張して図示されている。ハッチングで示された部分の周囲は、セラミックス等なる非磁性絶縁

層によって覆われている。

【0032】図示されたTMR素子は、強磁性トンネル効果膜1と、バイアス磁界誘導層21と、フラックスガイド層22とを含む。強磁性トンネル効果膜1は、トンネルバリア層11と、フリー層12と、ピン層13とを含む。トンネルバリア層11は、フリー層12とピン層13とによって挟まれている。

【0033】フリー層12は、基本的に磁気情報である外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変えられるように作用する。また、ピン層13は、その磁化方向が、すべて一定方向を向くようにピン止めされている。そのため、通常、ピン層13の磁化をピンニングするためのピン止め層14が、ピン層13のトンネルバリア層11と接する側と反対の面に積層される。

【0034】バイアス磁界誘導層21は、フリー層12にバイアス磁界を印加するものであって、バイアス磁界F1の方向で見た幅が強磁性トンネル効果膜1の幅よりも大きくなっている。バイアス磁界誘導層21は、バイアス手段23、24を有する。バイアス付与手段23、24により、バイアス磁界誘導層21を介して、フリー層12のバイアス磁界が印加される。バイアス手段23、24は、高保磁力材料、反強磁性材料、または反強磁性層と少なくとも一層の強磁性層との積層体から構成され得る。

【0035】フラックスガイド層22は、バイアス磁界誘導層21のバイアス磁界の方向F1と、ほぼ直交するようにして、バイアス磁界誘導層21と積層されている。フラックスガイド層22は、更に、フリー層12に磁気的に結合され、一端がフラックスプローブ部221を構成し、フラックスプローブ部221はその幅がバイアス磁界誘導層21の幅よりも狭く、バイアス磁界誘導層21から突出している。

【0036】図示実施例において、強磁性トンネル効果膜1は、フリー層12、トンネルバリア層11及びピン層13の順に積層されている。フラックスガイド層22は、バイアス磁界誘導層21の上に直接に積層されている。強磁性トンネル効果膜1のフリー層12は、フラックスガイド層22の一面上に、接触して設けられている。

【0037】本発明に係るTMR素子は、フリー層12／トンネルバリア層11／ピン層13という多層構造からなる強磁性トンネル効果膜1を有しており、トンネルバリア層11を挟むフリー層12とピン層13との間に電流を流した場合、トンネルバリア層11を流れるトンネル電流が、フリー層12及びピン層13の間の磁化の相対角度に依存して変化する。ピン層13の磁化の方向は固定であるが、フリー層12の磁化の方向は、外部磁界に応じて変化する。従って、TMR素子に流れる電流またはその変化率を検出することにより、外部磁界を検出することができる。

【0038】TMR素子は、バイアス磁界誘導層21を含み、バイアス磁界誘導層21により、フリー層12にバイアス磁界を印加するから、フリー層12におけるバルクハウゼンノイズを除去し、高品質の検出信号を得ることができる。バイアス磁界誘導層21は、バイアス磁界の方向F1で見た幅が強磁性トンネル効果膜1の幅よりも大きくなっているから、バイアス磁界誘導層21の幅方向の両端部分に、強磁性トンネル効果膜1から間隔Gを隔てて、バイアス付与手段23、24を形成することができる。このため、バイアス付与手段23、24によるフリー層12-ピンド層13間の電氣的ショート等を回避することができる。

【0039】更に、本発明に係るTMR素子は、フラックスガイド層22を含む。フラックスガイド層22は、フリー層12に磁氣的に結合され、その一端がフラックスプローブ部221を構成する。このフラックスプローブ部221はバイアス磁界誘導層21から突出している。外部磁界は、フラックスプローブ部221から導入され、フラックスガイド層22を通して、フリー層12に印加される。従って、薄膜磁気ヘッドへの適用等において、フラックスプローブ部221を研磨面PS1（図3参照）に位置させ、強磁性トンネル効果膜1は、研磨面PS1から引っ込んだ位置に配置することができる。このため、研磨加工時、もしくは研磨加工後において、トンネルバリア層11に電氣的ショートが発生するのを回避することができる。

【0040】フラックスプローブ部221は、その幅Lfが、バイアス磁界誘導層21の幅Lmよりも狭く、バイアス磁界誘導層21から突出しているから、当該TMR素子を、薄膜磁気ヘッドの読み取り素子として用いた場合、ヘッドの再生トラック幅はフラックスプローブ部221の幅Lfで決定される微小値に設定できる。

【0041】しかも、フラックスガイド層22は、バイアス磁界誘導層21とは別の層となっているから、フラックスガイド層22は、バイアス磁界誘導層21とは別の成膜プロセスによって、形成することができる。フラックスガイド層22は、バイアス磁界誘導層21のバイアス磁界の方向F1と交差しており、一端がフラックスプローブ部221を構成している。従って、フラックスガイド層22が、その端部において、丸みを生じた場合にも、その丸み部分を除去し、幅寸法の安定した中間部分を、フラックスプローブ部221として利用することができる。このため、高精度の読み取りトラック幅を有するTMR素子を得ることができる。

【0042】強磁性トンネル効果膜1の幅Lpは、フラックスプローブ部221の幅Lfと等しいかあるいは大きく、かつ、バイアス磁界誘導層21の幅Lmよりも小さく設定されている。バイアス磁界誘導層21の幅Lmは、0.5~4 μ m程度、フラックスプローブ部221の幅Lfは、0.1~2 μ m程度とされる。

【0043】さらに、フラックスガイド層22の奥行きHは、0.01~0.3 μ m、好ましくは、0.01~0.2 μ m、さらに好ましくは、0.01~0.1 μ mに設定される。このH値は限りなく0に近い方がよいが、小さくなるにつれ、静電破壊の危険性が生じたり、あるいは研磨工程における、フリー層12とピンド層13との電氣的ショートの危険性が生じる。従って、下限値は、0.01 μ m程度とするのがよい。一方、このH値が、0.3 μ mを超えると、出力が低下したり、幅方向のバイアス磁界が不十分となりバルクハウゼンノイズが生じたりしてしまう。

【0044】強磁性トンネル効果膜1の積層方向の上下には、一対の電極25、26が対向配置されている。この一対の電極25、26により強磁性トンネル効果膜1にセンス電流が供給される。さらにこれらをそれぞれ覆うように一対の磁気シールド層27、28が対向配置される。

【0045】バイアス磁界誘導層21は、バイアス付与手段23、24によって、幅方向にバイアス磁界が印加されるようになっている。バイアス磁界誘導層21の幅Lmは、ピンド層13の幅Lpよりも大きく設定されており、バイアス磁界誘導層21は、その幅Lmがピンド層13の長さLpよりも長い分だけ、その両端部に、拡張部位をそれぞれ備えた形態となっている。

【0046】間隔Gは、TMR変化率を実質的に低下させないようにするために所定範囲に定めることが望ましい。好ましい態様として実験的に見出された数値を挙げると、間隔Gは、0.02 μ m以上、特に、0.02 μ m以上0.3 μ m以下の範囲、さらには0.02 μ m以上0.15 μ m未満の範囲とすることが好ましい。

【0047】間隔Gの値が、0.02 μ m未満となると、TMR変化率が低下する傾向にある。この一方で、このG値が大きくなり過ぎて、0.3 μ mを超えると、有効トラック幅が広がってしまい高記録密度化への将来の要求に合致しなくなる傾向が生じる。

【0048】また、本発明におけるフリー層12の厚さは、特に限定されないが、2~5nm、好ましくは、4~3nm、より好ましくは6~2nmの範囲に設定するのがよい。この厚さが、2nm未満となると、バイアス磁界誘導層21の幅方向の幅Lmを十分な大きさとして成膜技術上、困難になる。また、この厚さが50nmを超えると、フリー層12内部の特性のばらつきにより、電子スピン分極率の分散が生じ、結果的にTMR変化率が減少してしまうという不都合が生じる。

【0049】フリー層12やピンド層13を構成する材質は、高いTMR変化率が得られるように高スピン分極材料が好ましく、例えば、Fe、Co、Ni、FeCo、NiFe、CoZrNb、FeCoNi等が用いられる。これらは2層以上の積層体であってもよい。フリー層12の膜厚は、前述したように2~5nm、好ましくは6~2nmとされる。膜厚が厚く

なりすぎると、出力が低下する傾向があり、また、膜厚が薄くなりすぎると、磁気特性が不安定となりヘッド動作時のノイズが増大するという不都合が生じる。ピンド層13の膜厚は、1~10 nm、好ましくは2~5 nmとされる。膜厚が厚くなりすぎると、ピン止め層14による磁化のピンニングが弱まり、また、膜厚が薄くなりすぎると、TMR変化率が減少する傾向が生じる。

【0050】ピンド層13の磁化をピン止めるピン止め層14は、そのピン止め機能を果たすものであれば、特に限定されないが、通常、反強磁性材料が用いられる。厚さは、通常、60~5 nm程度とされる。

【0051】トンネルバリア層11は、 Al_2O_3 、 NiO 、 GdO 、 MgO 、 Ta_2O_5 、 MoO_2 、 TiO_2 、 WO_2 等から構成される。トンネルバリア層11の厚さは、素子の低抵抗化のためできるだけ薄いことが望ましいが、あまり薄すぎてピンホールが生じるとリーク電流がながれてしまい好ましくない。一般には、0.5~2 nm程度とされる。

【0052】本発明において、フリー層12を、例えば、 NiFe 層（厚さ2 nm）/ Ru 層（厚さ0.7 nm）/ NiFe 層（厚さ2.5 nm）の3層積層体で例示される合成フェリ磁石（synthetic ferrimagnet）とすることも好ましい態様の一つである。この場合には、上下の NiFe 層および NiFe 層の磁化方向はそれぞれ、互いに逆方向となっている。合成フェリ磁石を用いた場合、実効的なフリー層12の厚さを薄く設定することができるため、磁場感度が向上し、出力が大きくなるというメリットがある。また、このような合成フェリ磁石は、ピンド層13にも適用できる。

【0053】また、上記の実施の形態において、バイアス付与手段23、24は、フリー層12の両端部の上側に配置されているが、これに限定されることなく下側に配置してもよい。

【0054】図4は本発明に係るTMR素子の別の実施例を示す斜視図、図5は図4に示したTMR素子の拡大断面図、図6は図5の6-6線に沿った断面図である。図において、図1~3に現れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。この実施例では、強磁性トンネル効果膜1は、フリー層12、トンネルバリア層11及びピンド層13の順に積層されている。フラックスガイド層22は、フリー層12と一体に形成されている。フラックスガイド層22は、フリー層12と一体であるが、バイアス磁界誘導層21とは別層であり、バイアス磁界誘導層21の上に積層されている。

【0055】図7は本発明に係るTMR素子の別の実施例を示す斜視図、図8は図7の8-8線に沿った断面図である。図において、図1~3に現れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。この実施例では、強磁性トンネル効果膜1は、ピンド層13、トンネルバリア層11及びフリー層12の順に積

層した構造を有する。バイアス磁界誘導層21はフリー層12に隣接し、フラックスガイド層22はバイアス磁界誘導層21の上に積層されている。フラックスガイド層22は、バイアス磁界誘導層21とは別層である。

【0056】図9は本発明に係るTMR素子の別の実施例を示す斜視図、図10は図9の10-10線に沿った断面図である。図において、図1~3に現れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。この実施例では、強磁性トンネル効果膜1は、ピンド層13、トンネルバリア層11及びフリー層12の順に積層した構造を有する。バイアス磁界誘導層21は、フリー層12と一体に形成されている。フラックスガイド層22は、バイアス磁界誘導層21とは別層であり、バイアス磁界誘導層21の上に積層されている。

【0057】次に、図11~23を参照し、図1~3に図示したTMR素子の製造方法について、特に、バイアス磁界誘導層21及びフラックスガイド層22の製造工程を説明する。製造に際しては、フォトリソ法、イオンミリング、リフトオフ、スパッタ成膜法等の公知の種々の薄膜パターン形成技術が用いられるが、ここでは個別的な詳細手法の説明は省略する。

【0058】まず、図11、12に図示するように、シールド層27の上に積層した電極層25の上に、バイアス磁界誘導層21を成膜する。シールド層27及び電極層25はセラミックス等の非磁性絶縁層によって覆われている。

【0059】次、図13、14に図示するように、バイアス磁界誘導層21の上にフラックスガイド層22を成膜する。上述したように、例えば、40 Gb/s piの記録密度に適応させるためには、強磁性トンネル効果膜は $0.4 \times 0.4 (\mu\text{m}^2)$ 程度のサイズにまで縮小しなくてはならない。フラックスガイド層22も、上述したサイズに対応した微細パターンになる。このような微細パターンを、フォトリソグラフィ技術で形成すると、図13に図示するように、フラックスガイド層22の角部に丸みを生じる。

【0060】次に、図15に示すように、バイアス磁界誘導層21及びフラックスガイド層22の上に、フリー層となる強磁性層12、トンネルバリア層となる絶縁層11及びピンド層となる強磁性層13を成膜する。これらの各層11~14の成膜に当たっては、各層11~14の成膜前に、成膜する表面をイオンエッチングによりクリーニングすることが好ましい。このようなクリーニングによれば、各層の界面にレジスト残存汚染層または酸化層が形成されるのを回避し、最終的に得られる強磁性トンネル効果膜の抵抗値増大を防ぐことができる。

【0061】次に、図16に示すように、強磁性層13の表面にレジスト膜100を、所定のパターンで形成する。レジスト膜100は、バイアス磁界誘導層21とフラックスガイド層22とが重なる領域から、フラックス

ガイド層22の先端領域に伸びるパターンを有する。

【0062】そして、図17に示すように、レジスト膜100によって覆われていない部分を、イオンミリング等によって除去する。図18、19は、除去後のパターンを示している。図18、19に示すように、フラックスガイド層22の上に、強磁性層12、絶縁層11及び強磁性層13の積層膜が形成される。この積層膜のパターンは、レジスト膜100とほぼ同じパターンとなる。

【0063】次に、レジスト膜100を周知の手段に従って、剥離した後、図20に示すように、別のレジスト膜110を、所定のパターンで形成する。レジスト膜110は、例えば、バイアス磁界誘導層21の両端の丸みを帯びた先端部、及び、フラックスプローブ膜22の丸みを帯びた先端部が露出するパターンとなるように形成する。そして、図21に示すように、イオンミリング等の手段によって、レジスト膜110によって覆われていないバイアス磁界誘導層21の両端の丸みを帯びた先端部、及び、フラックスプローブ膜22の丸みを帯びた先端部を除去する。

【0064】図22、23は上述したミリングの後、レジスト膜110を除去した後の状態を示す。図示するように、バイアス磁界誘導層21は、両端の丸みを帯びた先端部が除去され、安定した幅で所定の長さを有するようにパターンニングされる。また、フラックスガイド層22の丸みを帯びた両端部も除去され、フラックスガイド層22及びその上の強磁性トンネル効果膜の幅も安定した寸法になる。

【0065】次に、図24に示すように、強磁性トンネル効果膜1の表面が、一部露出するようにして、レジスト膜120を形成し、図25に示すように、イオンミリングを行う。このイオンミリングにおいて、強磁性トンネル効果膜1を構成する強磁性層13、トンネルバリア層11及び強磁性層12をミリングする。これにより、図26、27に示すように、所定の寸法で突出するフラックスプローブ端221を有するフラックスガイド層22が得られる。図4～6に図示したTMR素子も、同様のプロセスに従って製造できる。

【0066】次に、図28～35を参照して、図7、8に図示したTMR素子の製造方法について説明する。まず、図28、29に図示するように、シールド層27の上に積層した電極層25の上に、フリー層となる強磁性層12、トンネルバリア層となる絶縁層11及びビンド層となる強磁性層13を成膜した後、バイアス磁界誘導層21を成膜する。シールド層27、電極層25、強磁性層12、絶縁層11及び強磁性層13の周囲は、セラミックス等の非磁性絶縁層によって覆われている。前に述べたように、強磁性トンネル効果膜1を構成する各層11～14の成膜に当たっては、各層11～14の成膜前に、成膜する表面をイオンエッチングによりクリーニングすることが好ましい。このようなクリーニングによ

れば、各層の界面にレジスト残存汚染層または酸化層が形成されるのを回避し、最終的に得られる強磁性トンネル効果膜の抵抗値増大を防ぐことができる。

【0067】次、図30、31に図示するように、バイアス磁界誘導層21の上にフラックスガイド層22を成膜する。上述したように、例えば、40 Gb/spiの記録密度に適応させるためには、強磁性トンネル効果膜は $0.4 \times 0.4 (\mu\text{m}^2)$ 程度のサイズにまで縮小しなくてはならない。フラックスガイド層22も、上述したサイズに対応した微細パターンになる。このような微細パターンを、フォトリソグラフィ技術で形成すると、図30に図示するように、フラックスガイド層22の角部に丸みを生じる。

【0068】次に、図32に示すように、レジスト膜130を、所定のパターンで形成する。レジスト膜130は、例えば、バイアス磁界誘導層21の両端の丸みを帯びた先端部、及び、フラックスプローブ膜22の丸みを帯びた先端部が露出するパターンとなるように形成する。そして、図33に示すように、イオンミリング等の手段によって、レジスト膜130によって覆われていないバイアス磁界誘導層21の両端部、及び、フラックスプローブ膜22の丸みを帯びた先端部を除去する。これにより、幅の安定したバイアス磁界誘導層21及びフラックスガイド層22が得られる。

【0069】図34～36は上述したミリングの後、レジスト膜130を除去して得られた形状を示す。図示するように、バイアス磁界誘導層21は、両端の丸みを帯びた先端部が除去され、安定した幅で所定の長さを有するようにパターンニングされる。また、フラックスガイド層22の丸みを帯びた両端部も除去され、フラックスガイド層22及びその上の強磁性トンネル効果膜の幅も安定した寸法になる。これにより、所定の寸法で突出するフラックスプローブ端221を有するフラックスガイド層22が得られる。図9、10に図示したTMR素子も、同様のプロセスに従って製造できる。

【0070】図37は上述したTMR素子を読み出し素子として用い、誘導型電磁変換素子を書き込み素子として用いた面内記録用薄膜磁気ヘッドの斜視図、図38は図37に示した薄膜磁気ヘッドの拡大断面図を示している。図示の薄膜磁気ヘッドは、スライダ4の上に本発明に係るTMR素子で構成された読み出し素子6及び誘導型磁気変換素子でなる書き込み素子5を有する。矢印A1は媒体走行方向を示す。図において、寸法は部分的に誇張されており、実際の寸法とは異なる。

【0071】スライダ4は、媒体対向面側にレール41、42を有し、レールの表面がABS43、44として利用される。レール41、42は2本に限らない。1～3本のレールを有することがあり、レールを持たない平面となることもある。また、浮上特性改善等のために、媒体対向面に種々の幾何学的形状が付されることも

ある。何れのタイプのスライダ4であっても、本発明の適用が可能である。また、スライダ4は、レールの表面に、例えば8～10 nm程度の膜厚を有するDLC等の保護膜を備えることもあり、このような場合は保護膜の表面がABS43、44となる。スライダ4は Al_2O_3 -TiC等である基体410の表面に Al_2O_3 、 SiO_2 等の無機絶縁膜420を設けたセラミック構造体である。

【0072】書き込み素子5及び読み取り素子6は、レール41、42の一方または両者のトレーリング、エッジTRの側に備えられている。書き込み素子5及び読み取り素子6は、スライダ4に備えられ、電磁変換のための端部がABS43、44と近接した位置にある。トレーリング、エッジTRの側にあるスライダ側面には、書き込み素子5に接続された取り出し電極45、46及び読み取り素子6に接続された取り出し電極47、48がそれぞれ設けられている。

【0073】書き込み素子5は、読み取り素子6に対する第2のシールド膜を兼ねている第1の磁性膜51、第2の磁性膜52、コイル膜53、アルミナ等であるギャップ膜54、絶縁膜55及び保護膜56などを有している。第2のシールド膜は、第1の磁性膜51から独立して備えられていてもよい。

【0074】第1の磁性膜51及び第2の磁性膜52の一端部（先端部）510、520は微小厚みのギャップ膜54を隔てて対向するポール部となっており、ポール部において書き込みを行なう。第1及び第2の磁性膜51、52は、単層であってもよいし、複層膜構造であってもよい。第1及び第2の磁性膜51、52の複層膜化は、例えば、特性改善を目的として行われることがある。ポール部の構造に関しても、トラック幅の狭小化、記録能力の向上等の観点から、種々の改良、及び、提案がなされている。本発明においては、これまで提案された何れのポール構造も採用できる。ギャップ膜54は非磁性金属膜またはアルミナ等の無機絶縁膜によって構成される。

【0075】第2の磁性膜52は、ポール部の側において、ギャップ膜54の面と平行な面に対して、ある角度で傾斜して立ち上がる。第2の磁性膜52は、更に、第1の磁性膜51との間にインナーギャップを保って、ABS43、44の後方に延び、後方において第2の磁性膜52に結合されている。これにより、第1の磁性膜51、第2の磁性膜52及びギャップ膜54を巡る薄膜磁気回路が完結する。

【0076】コイル膜53は、第1及び第2の磁性膜51、52の間に挟まれ、後方結合部の周りを渦巻き状に回る。コイル膜53の両端は、取り出し電極45、46に導通されている（図37参照）。コイル膜53の巻数および層数は任意である。コイル膜53は絶縁膜55の内部に埋設されている。

【0077】絶縁膜55は第1及び第2の磁性膜51、

52の間のインナーギャップの内部に充填されている。絶縁膜55の表面には第2の磁性膜52が備えられている。絶縁膜55は、有機絶縁樹脂膜またはセラミック膜で構成する。セラミック膜の代表例は、 Al_2O_3 膜または SiO_2 膜である。絶縁膜55をセラミック膜によって構成すると、有機絶縁膜を用いた場合に比較して、絶縁膜55の熱膨張が小さくなるので、最大突出量を低減するのによい結果が得られる。

【0078】保護膜56は、保護膜56は書き込み素子5の全体を覆っている。これにより、書き込み素子5の全体が、保護膜56によって保護されることになる。保護膜56は Al_2O_3 または SiO_2 等の無機絶縁材料で構成されている。

【0079】読み取り素子6は、本発明に係るTMR素子で構成されている。この読み取り素子6は、第1のシールド膜61と、第2のシールド膜63との間にあって、絶縁膜63の内部に配置されている。絶縁膜63はアルミナ等によって構成されている。読み取り素子6は第1のシールド膜61及び第2のシールド膜62に導通する取り出し電極47、48に接続されている（図37参照）。

【0080】図39は垂直記録用薄膜磁気ヘッドの拡大断面図である。図示された垂直記録用薄膜磁気ヘッドにおいて、第2の磁性膜52は、主磁極525と、補助磁極526とを含んでいる。主磁極525は垂直書き込みポール部を構成し、補助磁極526は主磁極525及び第1の磁性膜51を磁氣的に結合する。第1の磁性膜51は主磁極525から生じた磁束の戻り磁路を構成する。コイル膜53は主磁極525及び補助磁極526の周りに巻かれている。他の構造は、図37に示した面内記録用薄膜磁気ヘッドと実質的に同じであるので、説明は省略する。垂直記録用薄膜磁気ヘッドを用いた磁気記録の特徴は、磁気ディスクの磁気記録膜を、膜面と垂直となる方向に磁化して磁気記録を行うので、極めて高い記録密度を実現できることである。

【0081】図40は本発明に係る磁気ヘッド装置の一部を示す正面図、図41は図40に示した磁気ヘッド装置の底面図である。磁気ヘッド装置は、薄膜磁気ヘッド8と、ヘッド支持装置7とを含んでいる。薄膜磁気ヘッド8は図37～39を参照して説明した本発明に係る薄膜磁気ヘッドである。

【0082】ヘッド支持装置7は、金属薄板である支持体73の長手方向の一端にある自由端に、同じく金属薄板である可撓体71を取付け、この可撓体71の下面に薄膜磁気ヘッド8を取付けた構造となっている。

【0083】可撓体71は、支持体73の長手方向軸線と略平行して伸びる2つの外側枠部75、76と、支持体73から離れた端において外側枠部75、76を連結する横枠74と、横枠74の略中央部から外側枠部75、76に略平行するように延びていて先端を自由端と

した舌状片72とを有する。

【0084】舌状片72のほぼ中央部には、支持体73から隆起した、例えば半球状の荷重用突起77が設けられている。この荷重用突起77により、支持体73の自由端から舌状片72へ荷重力が伝えられる。

【0085】舌状片72の下面に薄膜磁気ヘッド8を接着等の手段によって取付けてある。薄膜磁気ヘッド8は、空気流出側端側が横枠74の方向になるように、舌状片72に取付けられている。本発明に適用可能なヘッド支持装置7は、上記実施例に限らない。

【0086】図42は本発明に係る磁気ディスク装置の構成を模式的に示す図である。図示された磁気ディスク装置は、磁気ヘッド装置9と、磁気ディスク10とを含む。磁気ヘッド装置9は図40、41に図示したものである。磁気ヘッド装置9は、ヘッド支持装置7の一端が位置決め装置11によって支持され、かつ、駆動される。磁気ヘッド装置の薄膜磁気ヘッド8は、ヘッド支持装置7によって支持され、磁気ディスク10の磁気記録面と対向するように配置される。

【0087】磁気ディスク10が、図示しない駆動装置により、矢印A1の方向に回転駆動されると、薄膜磁気ヘッド8が、微小浮上量で、磁気ディスク10の面から浮上する。図42に図示された磁気ディスク装置はロータリー、アクチュエータ方式と称される駆動方式であり、ヘッド支持装置7の先端部に取り付けられた薄膜磁気ヘッド8は、ヘッド支持装置7を回転駆動する位置決め装置11により、磁気ディスク10の径方向b1またはb2に駆動され、磁気ディスク10上の所定のトラック位置に位置決めされる。そして、所定のトラック上で、書き込み素子5による磁気記録、及び、TMR素子を有する読み取り素子6による読み取り動作が行われる。

【0088】以上、好ましい実施例を参照して本発明の内容を具体的に説明したが、本発明の基本的技術思想及び教示に基づいて、当業者であれば、種々の変形態様を採り得ることは自明である。

【0089】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、次のような効果を得ることができる。

(a) 超高密度記録に適用できるTMR素子、薄膜磁気ヘッド、磁気ヘッド装置及び磁気ディスク装置を提供することができる。

(b) 高精度の読み取りトラック幅を有するTMR素子、薄膜磁気ヘッド、磁気ヘッド装置及び磁気ディスク装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るTMR素子の一実施例を示す斜視図である。

【図2】図1に示したTMR素子の拡大断面図である。

【図3】図2の3-3線に沿った断面図である。

【図4】本発明に係るTMR素子の別の実施例を示す斜視図である。

【図5】図4に示したTMR素子の拡大断面図である。

【図6】図5の6-6線に沿った断面図である。

【図7】本発明に係るTMR素子の別の実施例を示す斜視図である。

【図8】図7の8-8線に沿った断面図である。

【図9】本発明に係るTMR素子の別の実施例を示す斜視図である。

【図10】図9の10-10線に沿った断面図である。

【図11】図1～3に図示したTMR素子の製造方法に含まれる工程を示す図である。

【図12】図11の12-12線に沿った断面図である。

【図13】図11、12に示した工程の後の工程を示す図である。

【図14】図13の14-14線に沿った断面図である。

【図15】図13、14に示した工程の後の工程を示す断面図である。

【図16】図15に示した工程の後の工程を示す図である。

【図17】図16の17-17線に沿った断面図である。

【図18】図16、17に示した工程の後の工程を示す図である。

【図19】図18の19-19線に沿った断面図である。

【図20】図18、19に示した工程の後の工程を示す図である。

【図21】図20の21-21線に沿った断面図である。

【図22】図20、21に示した工程の後の工程を示す図である。

【図23】図22の23-23線に沿った断面図である。

【図24】図22、23に示した工程の後の工程を示す図である。

【図25】図24の25-25線に沿った断面図である。

【図26】図24、25に示した工程の後の工程を示す図である。

【図27】図26の27-27線に沿った断面図である。

【図28】図7、8に図示したTMR素子の製造方法に含まれる工程を示す図である。

【図29】図28の29-29線に沿った断面図である。

【図30】図28、29の工程の後の工程を示す図である。

【図31】図30の31-31線に沿った断面図である。

【図32】図30、31に示した工程の後の工程を示す図である。

【図33】図32の33-33線に沿った断面図である。

【図34】図32、33の工程を経て得られたパターンを示す図である。

【図35】図34の35-35線に沿った断面図である。

【図36】図34の36-36線に沿った断面図である。

【図37】本発明に係るTMR素子を読み出し素子として用い、誘導型電磁変換素子を書き込み素子として用いた面内記録用薄膜磁気ヘッドの斜視図である。

【図38】図37に示した薄膜磁気ヘッドの拡大断面図である。

【図39】本発明に係るTMR素子を読み出し素子として用いた垂直記録用薄膜磁気ヘッドの拡大断面図である。

【図40】本発明に係る磁気ヘッド装置の一部を示す正面図である。

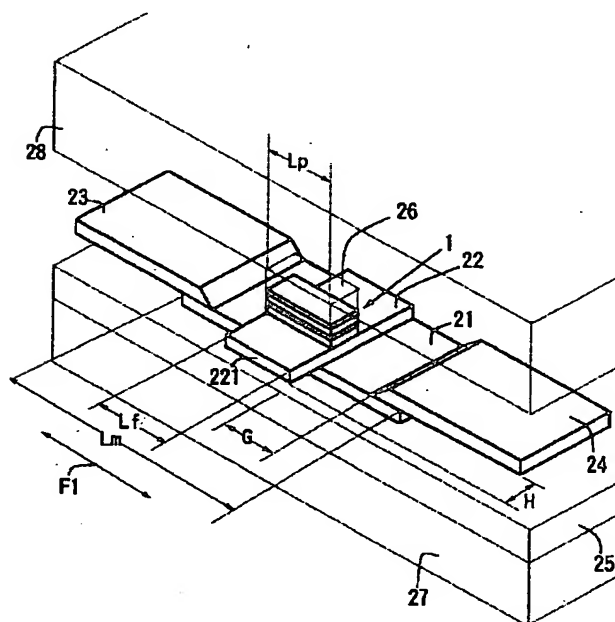
【図41】本発明に係る磁気ヘッド装置の一部を示す正面図である。

【図42】本発明に係る磁気ディスク装置の構成を模式的に示す図である。

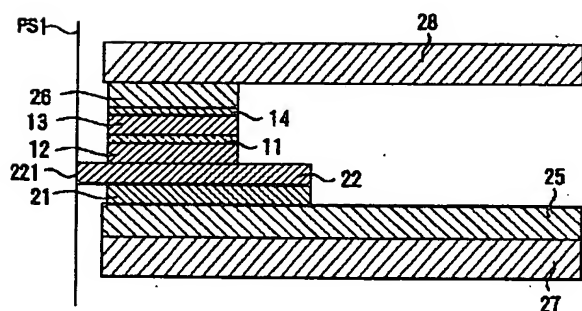
【符号の説明】

- | | |
|-----|------------|
| 1 | 強磁性トンネル効果膜 |
| 11 | トンネルバリア層 |
| 12 | フリー層 |
| 13 | ピンド層 |
| 21 | バイアス磁界誘導層 |
| 22 | フラックスガイド層 |
| 221 | フラックスプローブ部 |

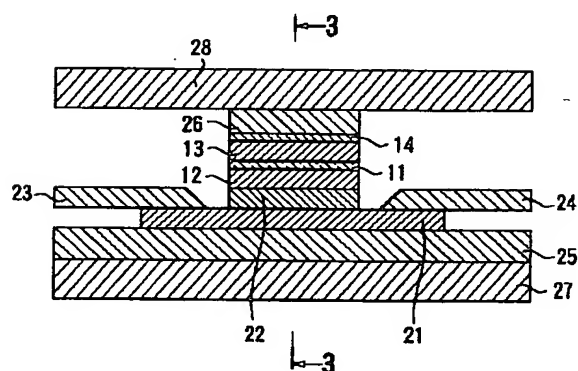
【図1】



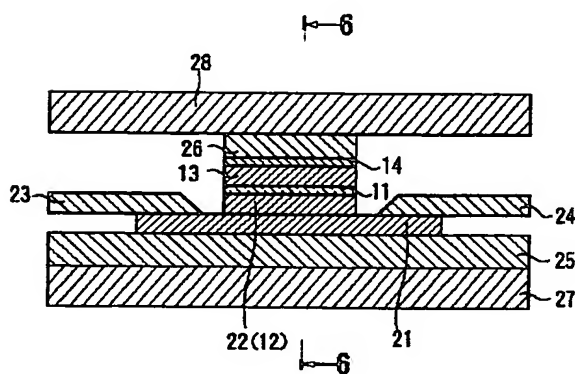
【図3】



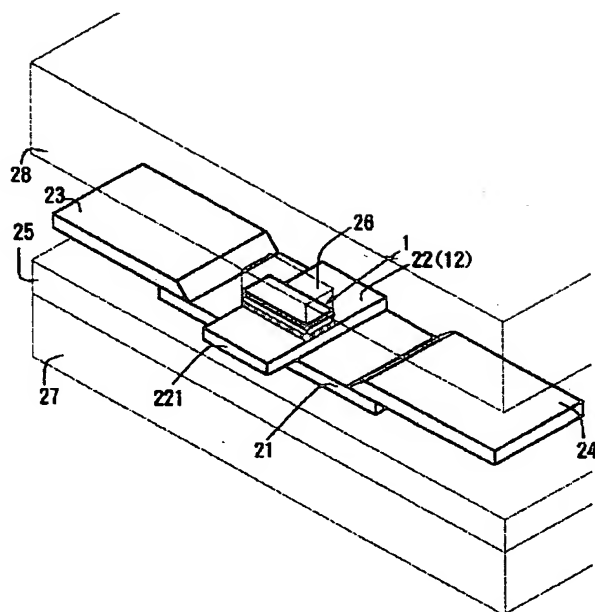
【図2】



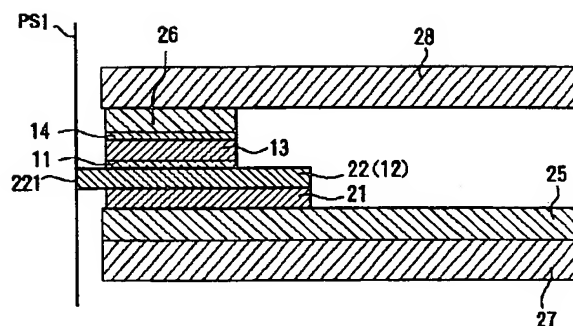
【図5】



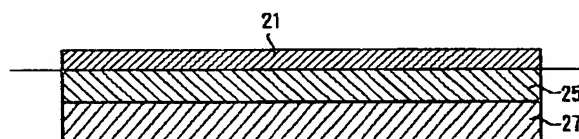
【図 4】



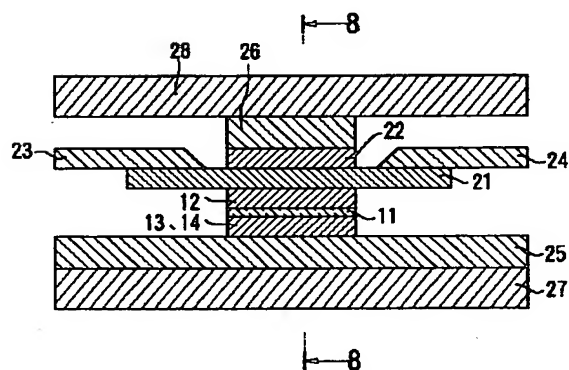
【図 6】



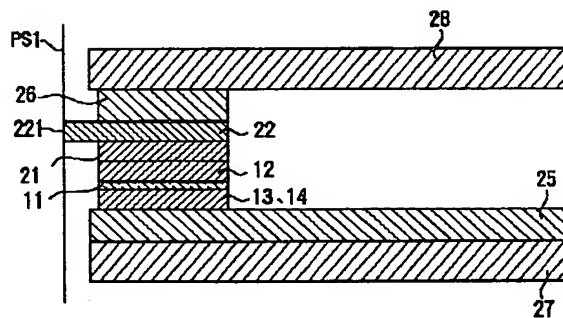
【図 12】



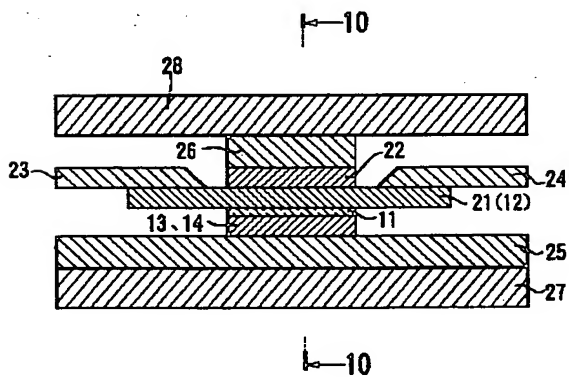
【図 7】



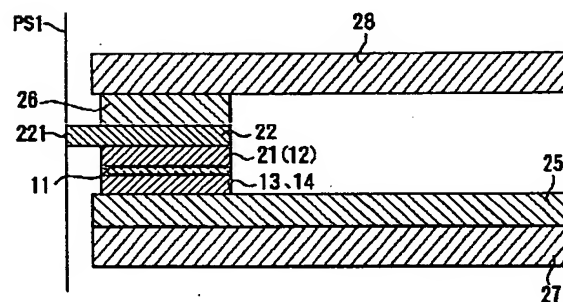
【図 8】



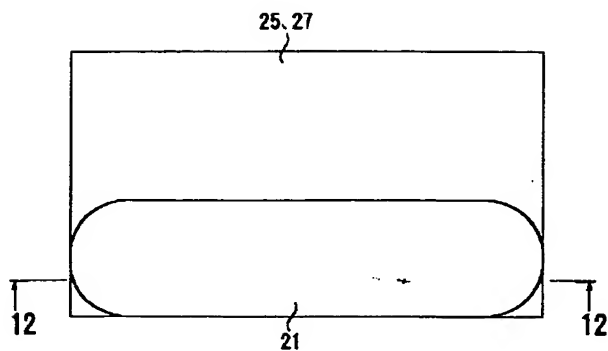
【図 9】



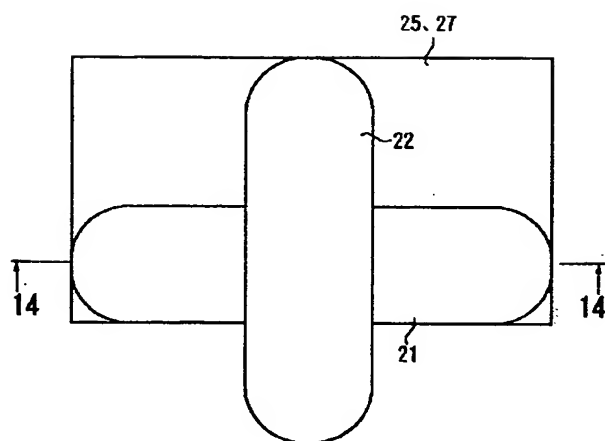
【図 10】



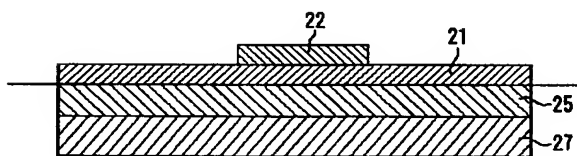
【図11】



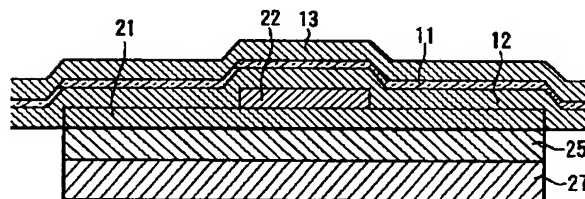
【図13】



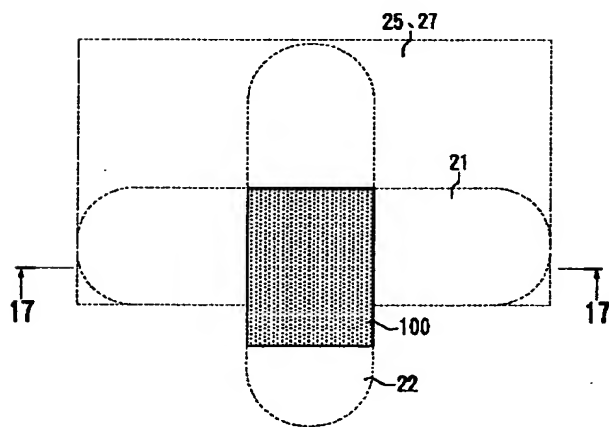
【図14】



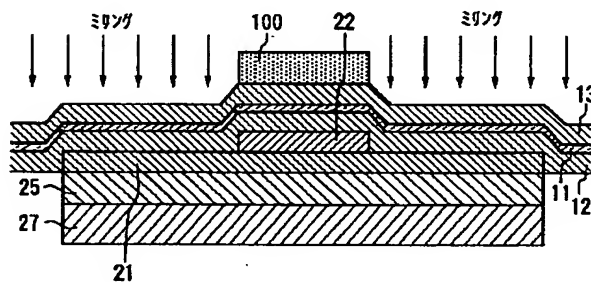
【図15】



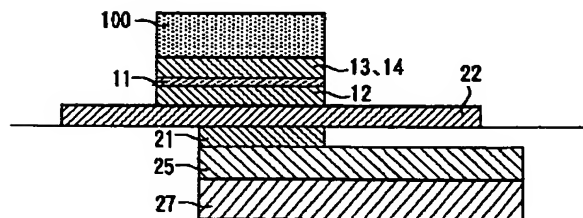
【図16】



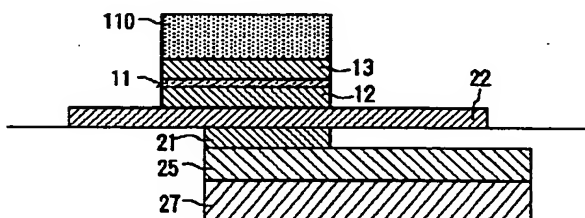
【図17】



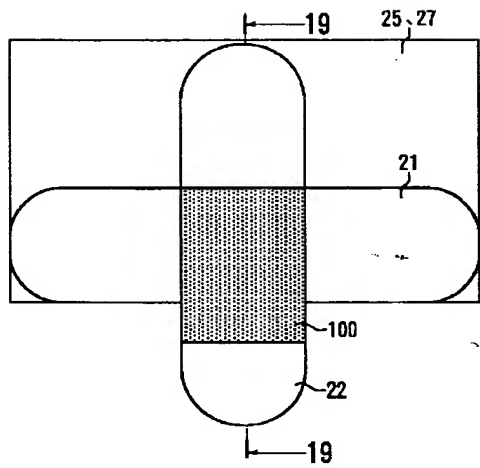
【図19】



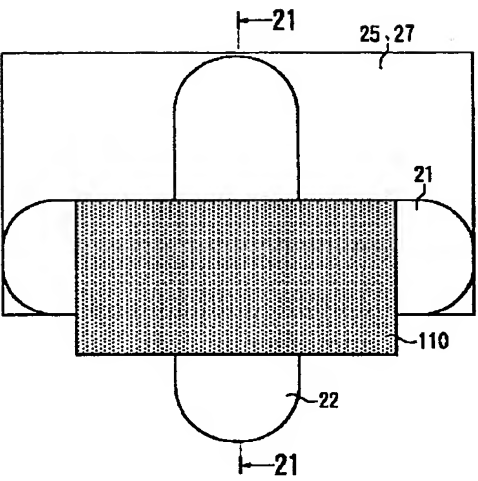
【図21】



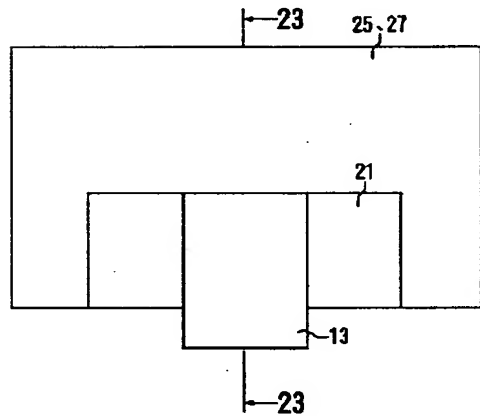
【図18】



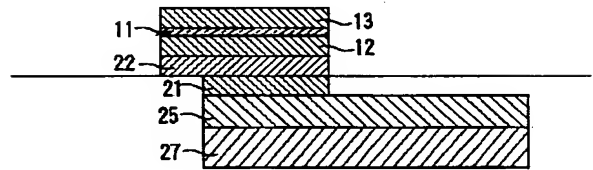
【図20】



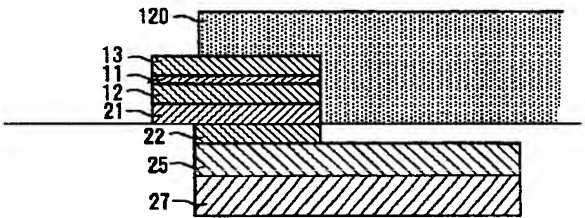
【図22】



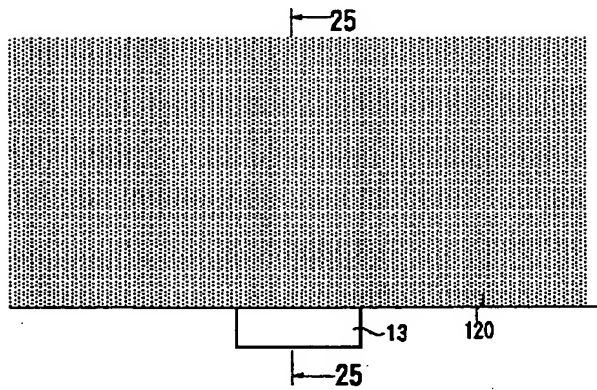
【図23】



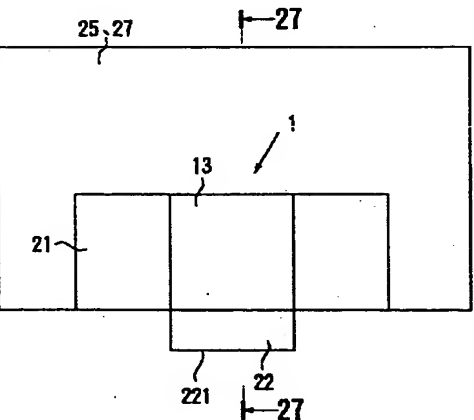
【図25】



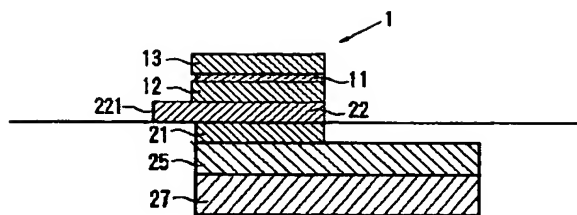
【図24】



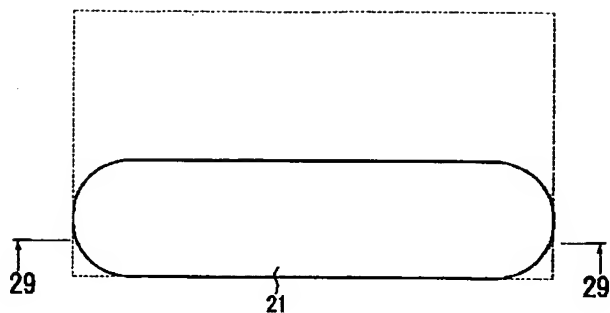
【図26】



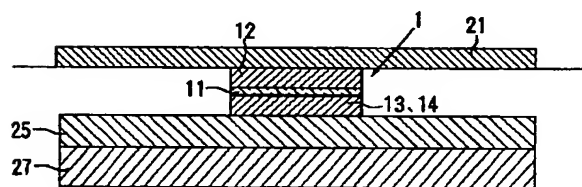
【图 27】



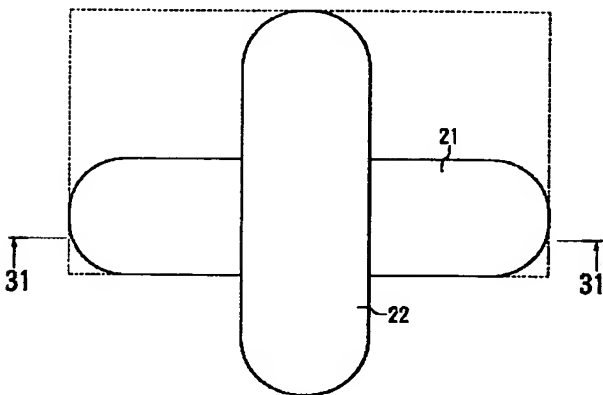
【圖 28】



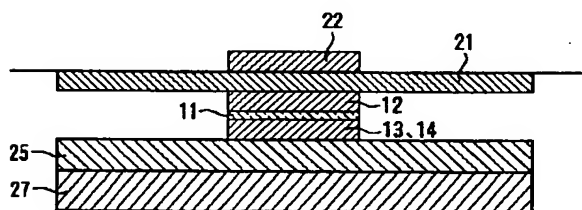
【圖 29】



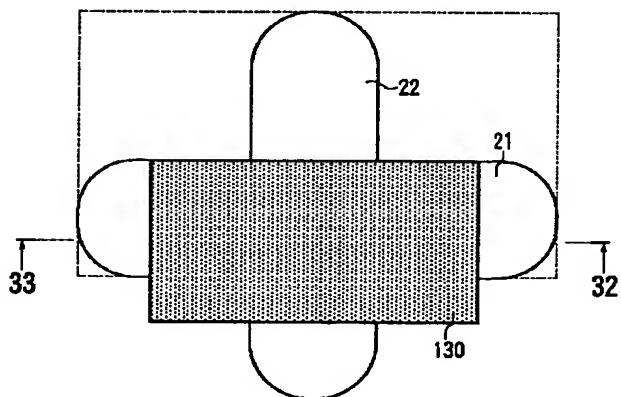
【図 30】



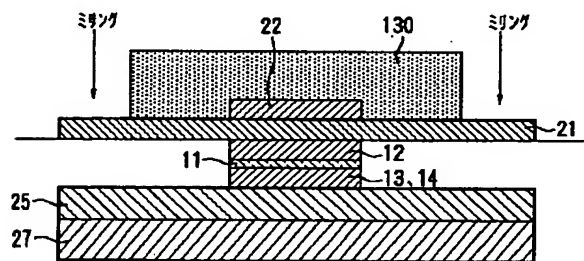
【図 3 1】



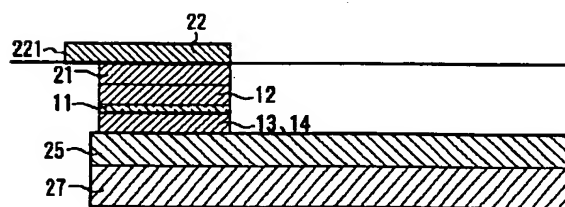
【图 3 2】



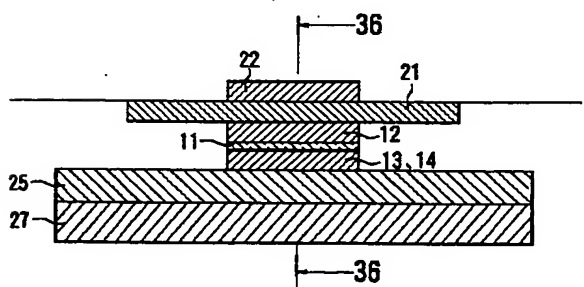
【图 3-3】



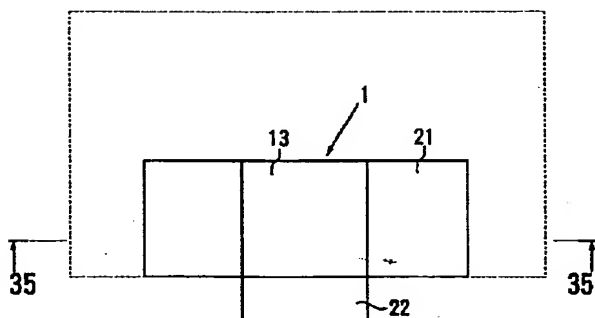
【図 3 6】



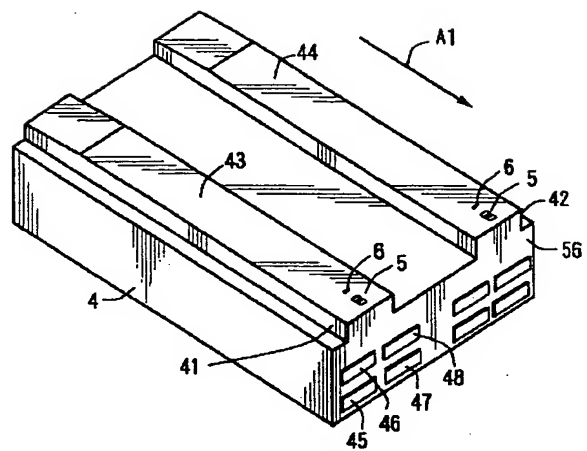
【図 3 5】



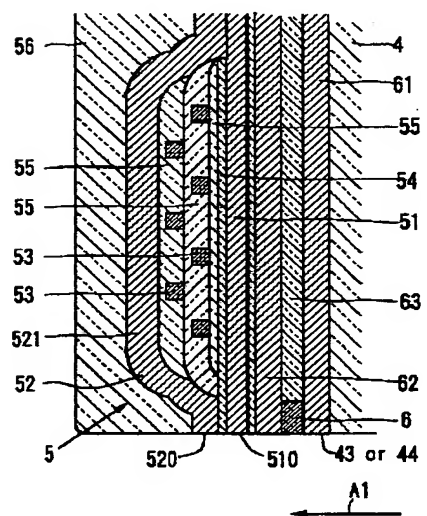
【図34】



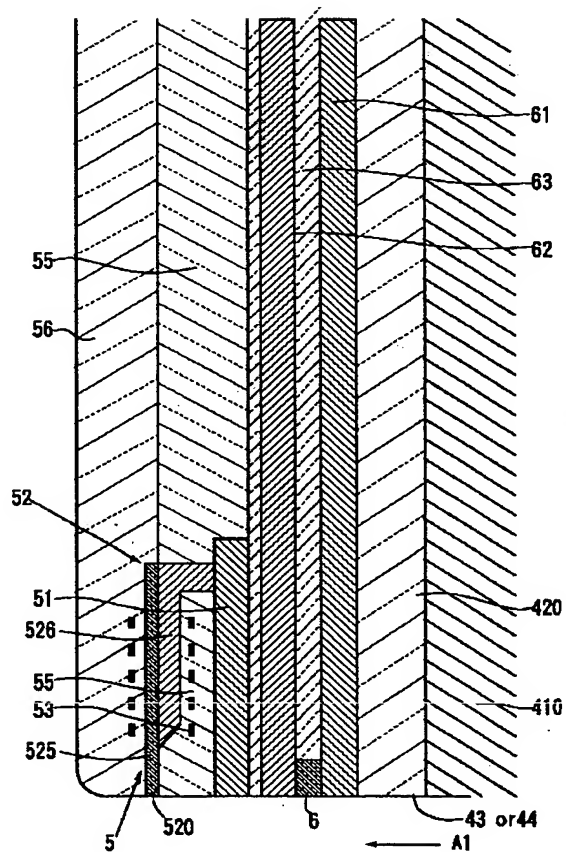
【図37】



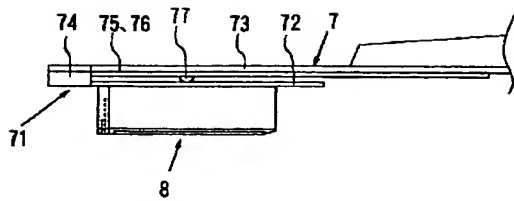
【図38】



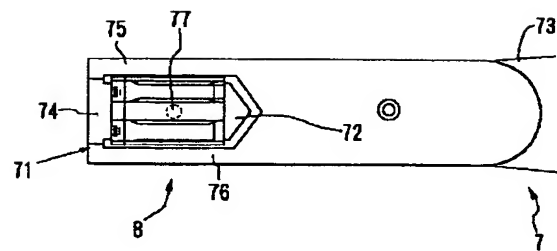
【図39】



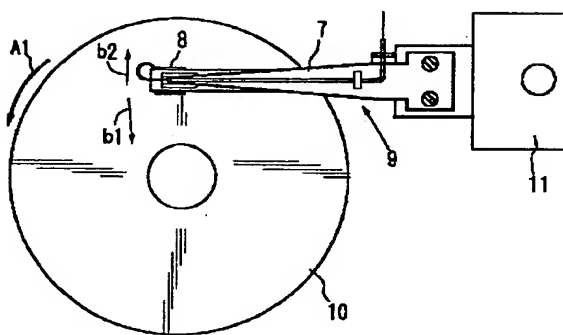
【図40】



【図41】



【図42】



フロントページの続き

(72) 発明者 荒木 悟
東京都中央区日本橋1丁目13番1号 ティーディーケー株式会社内

Fターム(参考) 5D034 BA04 BA05 BA15 BB09 BB12
CA04 CA08 DA07

THIS PAGE BLANK (USPTO)